James A. Reggia[1]

Tiempo, memoria y la base física de la Conciencia

Resumen: Las teorías de la conciencia basadas en campos electromagnéticos generalmente han asumido que las ecuaciones de Maxwell son completas, mientras que muchos físicos han sospechado durante mucho tiempo que no lo son. Recientemente se ha demostrado que las ecuaciones de Maxwell pueden extenderse con éxito al asumir que los campos electromagnéticos tienen componentes de valor complejo. Esta suposición, si bien especulativa, implica que los campos electromagnéticos se extienden tanto en el tiempo como en el espacio. Aquí muestro que una consecuencia de esta hipótesis, al aplicarse a los campos autogenerados del cerebro, asocia la experiencia consciente con la propagación de ondas electromagnéticas a través del tiempo. Los campos de valor complejo explican la duración temporal prolongada de la experiencia consciente y la experiencia subjetiva del flujo del tiempo, que no se explica de otro modo por la física existente. También sugieren una interpretación novedosa de los mecanismos de memoria que subyacen al recuerdo de experiencias conscientes pasadas (memoria episódica), considerando la reexperimentación de eventos pasados como un proceso perceptual en parte, en lugar de solo como un proceso de recuperación del almacenamiento. El poder explicativo de cualquier teoría del campo electromagnético de la conciencia aumenta sustancialmente por la existencia de campos de valores complejos.

Palabras clave: conciencia; teorías del campo electromagnético; tiempo; memoria episódica; hipótesis de los campos temporales.

Correspondencia:
Correo electrónico: reggia@umd.edu

1 Facultad de Computación, Matemáticas y Ciencias Naturales, Universidad de Maryland, College Park, MD, EE. UU.

Revista de Estudios de la Conciencia, 32, núm. 3-4, 2025, págs. 34-62
DOI: 10.53765/20512201.32.3.034

1. Introducción

Las teorías previas de la conciencia basadas en campos electromagnéticos tienen en común la atribución de la conciencia a los campos electromagnéticos endógenos del cerebro, en lugar de a sustancias materiales. Estos campos se generan por la actividad de la membrana neuronal y el flujo de corrientes iónicas en el cerebro. Recientemente, ha resurgido el interés en estas teorías por diversas razones, entre ellas, el creciente reconocimiento de la importancia general de los campos electromagnéticos en los sistemas biológicos, su predominio en el cerebro en relación con otras fuerzas físicas fundamentales (gravedad, núcleo débil/fuerte), sus numerosas correlaciones con diferentes estados de conciencia, su contribución a la explicación de la unidad de la conciencia y a la resolución del problema de la vinculación, y su participación en interacciones causales bidireccionales con la actividad neuronal cerebral (Frohlich y McCormick, 2010; Hales y Ericson, 2022; Jones y Hunt, 2023; MacIver, 2022; McFadden, 2023). Además, las teorías de los campos electromagnéticos se sitúan a medio camino entre el dualismo y el materialismo: la consciencia no es una sustancia no física que trascienda el mundo material, como en el dualismo cartesiano, ni es principalmente una propiedad de la materia (fermiones), por lo que representa una especie de «dualismo científico» intermedio (McFadden, 2020). Por supuesto, esto no resta importancia a la materia cargada que genera e interactúa con estos campos.

La Tabla 1 enumera varios ejemplos representativos de variaciones sobre la idea de que la conciencia se basa en campos electromagnéticos, en orden cronológico aproximado de su primera aparición.2 Para cada uno de los enfoques enumerados, las columnas de la tabla dan una cita seleccionada (título de la columna: Referencia seleccionada), cómo se atribuye la conciencia a los campos (Seat), la propiedad del campo que se correlaciona con qualia específicos (Qualia Correlatos), si la teoría defiende explícitamente el panpsiquismo (¿Panpsych?), el nombre dado a la teoría por los autores (Acrónimo), y si el enfoque involucra únicamente la electrodinámica clásica o también incorpora la física cuántica de alguna manera prominente (Tipo).

2 Hay artículos adicionales relevantes de estos mismos autores, como teorías actualizadas (Pockett, 2012), así como otros ejemplos de diferentes autores.

Seleccionado Referencia	Asiento	Qualia Correlatos	¿Pan-psico?	Tipo de acrónimo	
Pockett (2000)	Campo global del cerebro (teoría de la identidad)	Patrones espaciales en los campos	No	Comisión de Comercio Electrónico de Europa (EMFTC)	do
McFadden (2002)	Porción de campos descargables a las neuronas motoras	Patrones espaciales en campos, sincronía	No	CEMI	do
Romijn (2002)	Campos ubicados en árboles dendríticos corticales	Patrones espacio-temporales de fotones virtuales de QFT	Sí	—	Q
LaBerge y Kasevich (2007)	Campos ubicados en/alrededor de la corteza apical dendritas	Fuertes campos locales debido a la alineación paralela	No	—	do
Fingerkurts & Fingerkurts (2008)	Jerarquía anidada de sincro-campos nous	Campos temporoespaciales metaestables discretos	No	OA	do
Hales (2014)	Bosones virtuales y campos asociados	Transmembrana patrones de campo de neuronas y astrocitos	No	—	Q
Jones (2017)	Campos localizados a lo largo de circuitos y mapas neuronales	Patrones de campo más materia cargada radiante	Sí	notario público	do
Caza & Estudiante de escuela (2019)	Campos globales asociados con todas las partículas cargadas	Jerarquía anidada de campos resonantes	Sí	TRB	do
Keppler y Shani (2020)	Estructuras neuronales que interactúan con ZPF	Resonancias con Modos vibracionales ZPF	Sí	—	Q
Pabellón & Guevara (2022)	Campos complejos localizados en el tálamo	Estructuras de campo en los núcleos talámicos	No	—	do
Bond (2023)	Campo IR coherente y oscilaciones moleculares	Ubicación, frecuencia y otros variaciones	No	CFT	Q

Tabla 1. Teorías representativas del campo electromagnético de la conciencia. Clave: Sede (de la consciencia fenoménica)/Correlaciones Qualia: global = cerebro completo o multifocal; QFT = teoría cuántica de campos; ZPF = campo de punto cero; IR = frecuencias infrarrojas. Acrónimo: EMFTC = teoría del campo electromagnético de la consciencia; CEMI = teoría del campo de información electromagnética consciente; OA = marco de arquitectura operacional; NP = panpsiquismo neuroeléctrico; GRT = teoría general de resonancia; CFT = teoría del campo de coherencia. Tipo: C = electrodinámica clásica; Q = electrodinámica cuántica.

A pesar de sus diferencias, estas propuestas en conjunto constituyen un argumento convincente de que la conciencia fenomenal surge de algún modo de los campos electromagnéticos endógenos del cerebro o es idéntica a ellos. Dicho esto, estas teorías, incluida la descrita aquí, presentan limitaciones, ya que no conectan plenamente la dinámica detallada de los campos con el contenido cualitativo de la experiencia consciente, o qualia. Sin embargo, la naturaleza multidisciplinaria de este trabajo pionero (investigadores en psicología, neurociencia, física, filosofía, etc.) refleja un creciente consenso en cuanto a que una mayor investigación de los campos electromagnéticos del cerebro es actualmente una de las vías más prometedoras para la investigación futura que intenta comprender en última instancia la conciencia fenoménica y, quizás, resolver finalmente el "dificultad" de explicar la experiencia subjetiva (Hales y Ericson, 2022; Jones, 2024). Para una revisión reciente y lúcida y un análisis profundo de gran parte de este trabajo previo, véase Jones y Hunt (2023).

Todas las teorías o hipótesis enumeradas en la Tabla 1 presuponen que nuestra comprensión actual de la naturaleza de los campos electromagnéticos es prácticamente completa. Sin embargo, como han afirmado algunos físicos destacados, es probable que la comprensión de la consciencia requiera el desarrollo de nuevos conceptos físicos (Penrose, 2022; Wigner, 1969).[3] Más concretamente, recientemente se han presentado argumentos convincentes de que estos nuevos conceptos deberían implicar la extensión del modelo estándar de campos electromagnéticos (Hales y Ericson, 2022). Estos puntos son especialmente relevantes para las teorías de la consciencia basadas en campos electromagnéticos, ya que muchos físicos han sospechado desde hace tiempo que las ecuaciones de Maxwell, las ecuaciones fundamentales de la electrodinámica, son incompletas (asimétricas) (Griffiths, 2017; Zangwill, 2013). Recientemente se ha demostrado que esta incompletitud puede resolverse en el ámbito de la electrodinámica clásica, planteando la hipótesis de que los campos electromagnéticos tienen componentes complejos, en lugar de componentes únicamente de valor real, como ocurre actualmente, donde las nuevas partes de valor imaginario de estos componentes son inobservables (Reggia, 2024a,b). Esta adición implica que los campos y las ondas electromagnéticas se extienden tanto en el tiempo como en el espacio.

3 Desde esta perspectiva, los esfuerzos actuales para comprender la conciencia pueden considerarse análogos a los intentos científicos de estimar la edad del Sol antes del conocimiento de los procesos termonucleares (Stinner, 2002).

Sorprendentemente,[4] se ha descubierto que, al introducir campos de valores complejos en las ecuaciones de Maxwell de forma adecuada, las ecuaciones generalizadas no solo se mantienen coherentes con los hallazgos experimentales existentes, sino que también realizan predicciones sobre la naturaleza del tiempo y la memoria que resultan inesperadamente relevantes para la investigación de las teorías de la conciencia basadas en campos electromagnéticos. Estas predicciones, que se describen a continuación, respaldan y amplían la idea general, expuesta por las teorías previas de la Tabla 1, de que los campos electromagnéticos desempeñan un papel especial en la comprensión de la conciencia feno
Si bien se han propuesto pruebas experimentales que podrían confirmar o refutar estas predicciones (Reggia, 2024b), dichos experimentos aún no se han realizado y, por lo tanto, los campos electromagnéticos complejos deben considerarse solo como un concepto teórico en la actualidad y las ideas presentadas en este artículo como especulativas.

El objetivo de este artículo es explorar y caracterizar las implicaciones de los campos electromagnéticos de valor complejo para las teorías de campo de la conciencia basadas en los campos autogenerados del cerebro. A continuación, se resumen informalmente las propiedades de los campos electromagnéticos complejos (Sección 2). Dado que las principales predicciones novedosas de los campos de valor complejo involucran componentes de campo de valor imaginario que se extienden en el tiempo, el resto del artículo se centra principalmente en dos aspectos de la conciencia relacionados con el tiempo: la percepción consciente del flujo del tiempo y el recuerdo de experiencias conscientes pasadas. Se ha descubierto que los campos de valor complejo explican la duración temporal extendida de la experiencia consciente y el flujo subjetivo del tiempo que no se explica por la física existente (Sección 3). Dichos campos también sugieren una nueva adición a los mecanismos subyacentes al recuerdo de eventos conscientes pasados personalmente experimentados, o memoria episódica, presentando la reexperiencia de eventos pasados en parte como un proceso perceptual en lugar de únicamente como un proceso de recuerdo del almacenamiento (Sección 4). En resumen, la existencia de campos complejos aumentaría sustancialmente el poder explicativo de todas las teorías de la conciencia basadas en campos electromagnéticos. El artículo concluye con una breve discusión de las implicaciones y limitaciones de este trabajo, así como ideas para posibles estudios futuros (Sección 5), y con una breve explicación técnica.

---

4 «Sorprendentemente» porque la versión de valor complejo de las ecuaciones de Maxwell y sus predicciones se derivaron de maximizar la simetría de estas ecuaciones, no de tratar de explicar aspectos de la conciencia.

Apéndice que contrasta las versiones estándar y de valores complejos de las ecuaciones de Maxwell.

2. Campos electromagnéticos de valor complejo

La electrodinámica clásica suele expresarse en términos de un vector de campo eléctrico E y un vector de campo magnético B (la negrita indica los vectores), cada uno con tres componentes reales. Esto se ilustra para el campo eléctrico E en la Figura 1a, donde las flechas pequeñas indican el campo en cuatro puntos espaciales x, y la flecha punteada indica la trayectoria de un observador en movimiento que pasa por estos puntos a lo largo del tiempo. El comportamiento de estos campos se rige por las ecuaciones de Maxwell estándar. Estas ecuaciones presentan una asimetría notable y reconocida desde hace tiempo en la forma en que describen E.
y B , lo que las hace parecer incompletas. Muchos libros de texto modernos de electrodinámica, como Griffiths (2017) y Zangwill (2013), ilustran cómo esta asimetría/incompletitud podría subsanarse añadiendo términos para una carga magnética hipotética (monopolos magnéticos), pero las extensas búsquedas experimentales de dichos monopolos magnéticos no han logrado encontrarlos.

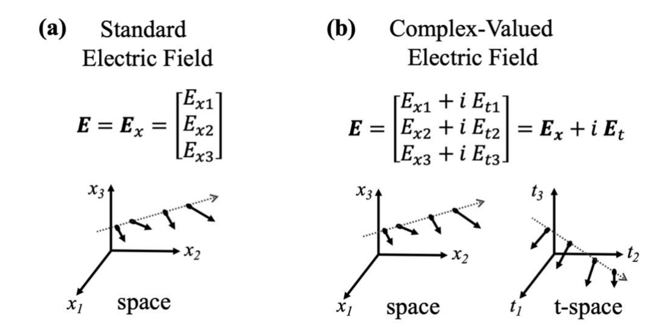


Figura 1. (a) Campo electromagnético E tal como se concibe actualmente. Si bien estos campos existen tanto en el espacio como en el tiempo, solo tienen tres componentes Ex1, Ex2 y Ex3 se extienden en el espacio, sin una cuarta componente que se extienda en el tiempo. (b) Campo electromagnético E extendido para tener tres componentes de valor complejo (espacio t = espacio temporal). Los vectores de campo complejo pueden considerarse con seis componentes de valor real (Ex1, …, Et3). Dado que es problemático representar vectores 6D en un solo diagrama, se representan en dos diagramas 3D separados. En otras palabras, en (b) las tres componentes reales de cada vector complejo 6D se representan en el espacio 3D (a la izquierda), mientras que las tres componentes imaginarias se representan en el espacio t 3D (a la derecha).

Recientemente se ha sugerido que la asimetría/incompletitud en las ecuaciones de Maxwell puede abordarse dentro de la electrodinámica clásica de una manera alternativa al suponer que (1) E y B tienen números complejos5 en lugar de números reales como componentes, y (2) las partes de valor imaginario de estos componentes son inobservables (Reggia, 2024a). La Figura 1b ilustra el campo complejo extendido en este caso para E, donde cada uno de sus tres componentes, como Ex1 + i Et1, ahora tiene no solo el valor real habitual Ex1 sino también una parte 'imaginaria' i Et1 donde i = Una forma útil de visualizar un solo vector complejo E como este es representar las tres partes de valor $\sqrt{-1}$ real Ex de un campo trazadas en el espacio 3D como de costumbre, mientras se representan las tres partes de valor imaginario Et trazadas en un espacio t separado, como se muestra en la Figura 1b (contraste Figura 1a). Pero ¿qué es el espacio t? En términos más simples, podría interpretarse como un aspecto del espacio que actualmente desconocemos (Reggia, 2024a), pero alternativamente, puede interpretarse como un espacio temporal íntimamente asociado con nuestro concepto de tiempo (Reggia, 2024b). A continuación, consideramos solo la segunda de estas dos posibles interpretaciones: la hipótesis de los campos temporales y el espacio t.
sea una abreviatura de espacio temporal.

Si uno reexpresa las ecuaciones de Maxwell utilizando campos de valores complejos E y B, la versión más simétrica resultante (que se da en el Apéndice) sigue siendo consistente con las ecuaciones de Maxwell estándar.
Tampoco predice nuevos fenómenos físicos observables cuya existencia se sabe inexistente, y es coherente con los resultados experimentales existentes. Estas ecuaciones de Maxwell de valor complejo implican que, en el espacio temporal, los roles de E y B están invertidos. También indican que nuestra comprensión actual del tiempo es incompleta y, como se describe en las siguientes secciones, esto tiene implicaciones para la comprensión de la consciencia. El tiempo objetivo t que aparece en estas y otras leyes de la física indica el paso del tiempo medido por un reloj (en otras palabras, t es un concepto independiente de las tres dimensiones individuales tj).
del espacio t). Según la interpretación temporal, las tres partes de valor imaginario de los campos electromagnéticos implican colectivamente la existencia del espacio t 3D complementario mencionado anteriormente, en el que residen las porciones temporales de estos tres campos (Figura 1b). Nuestro concepto habitual de tiempo objetivo t debe, por lo tanto, relacionarse de alguna manera c

5 A diferencia de un número real (por ejemplo, 1,3), un número complejo tiene dos partes, un número real más un número imaginario (por ejemplo, 1,3 + i 2,4), donde i representa $\sqrt{-1}$ ·

este espacio temporal 3D subyacente, y en este sentido, el tiempo puede verse como tridimensional.6

La idea de que el tiempo es tridimensional se incorpora a esta teoría al tomar el espacio-tiempo como compuesto por todos los puntos x + ic t, donde x es un punto en el espacio 3D, t es un punto en el espacio temporal 3D (espacio t) y c (velocidad de la luz) convierte segundos a metros (Reggia, 2024b). Es importante tener en cuenta que el tiempo de reloj unidimensional t en las ecuaciones de Maxwell y el vector tridimensional t que indica una ubicación en el espacio t son dos entidades separadas. Sin embargo, así como una longitud Δx se asocia con la distancia entre dos puntos en el espacio, la teoría define análogamente la duración Δt en el tiempo de reloj unidimensional familiar como asociada con la distancia entre dos puntos en el espacio temporal (Figura 1b).7 Además, la distinción entre t y t hace que sea razonable referirse no solo a una velocidad vx a la que una partícula se mueve a través del espacio, sino también a una velocidad vт a la que esa partícula avanza a través del tiempo en el espacio t; en otras palabras, vт es la velocidad a la que se observa que la partícula está envejeciendo.
Utilizando el concepto de intervalo invariante en la relatividad especial, se puede Se puede demostrar que, para cualquier partícula que se mueva a través del espacio-tiempo complejo considerado aquí, debe obedecer una restricción universal de velocidad8 dada por $v_x^2 + v_\tau^2 = c^2$. Esta restricción implica que ningún objeto está realmente en reposo. Podemos sentir que estamos en reposo en el espacio (vx = 0), pero la restricción universal de velocidad implica que nos movemos a una velocidad vт = c a través del tiempo objetivo t, lo que corresponde a una velocidad de un segundo por segundo (es decir, un segundo a través del espacio-tiempo t por cada segundo de tiempo de reloj). Véase el Apéndice para más detalles.

3. Tiempo y Conciencia

3.1. La naturaleza del tiempo

La comprensión actual de la naturaleza del tiempo es incompleta y controvertida en física, filosofía, psicología y neurociencia. En particular, al analizar la consciencia, es necesario distinguir un segundo significado de «tiempo» más allá del tiempo objetivo o cronométrico t, mencionado anteriormente. Este tiempo subjetivo, denominado aquí ts , se refiere

---

La idea de que el tiempo pueda ser multidimensional no es nueva, pues varios físicos la han propuesto previamente por diversas razones. Véase Reggia (2024b) para un resumen de este trabajo previo relacionado.

7 El símbolo Δ puede leerse como 'cambio en'.

Existe un concepto similar en la relatividad especial estándar de 4 vectores (Mermin, 2005).

El paso del tiempo, experimentado subjetivamente, se ha estudiado ampliamente en psicología cognitiva (Arstila y Lloyd, 2014; Kent y Wittmann, 2021). La percepción del flujo del tiempo está inherentemente asociada a la consciencia (Ornstein, 1997): experimentamos continuamente el paso subjetivo del tiempo cuando estamos despiertos, pero no cuando estamos completamente inconscientes (sueño profundo no REM, anestesia general). No existe un «reloj maestro» neurobiológico universalmente aceptado para nuestra experiencia del paso de segundos o minutos, aunque existen evidencias que respaldan la participación de las estructuras subcorticales y corticales en este proceso (Arstila y Lloyd, 2014).

Recientemente se ha sugerido que el tiempo subjetivo es lo suficientemente importante como para ser un aspecto central de los estudios de la consciencia (Kent y Wittmann, 2021). El tiempo subjetivo posee tres propiedades ampliamente reconocidas que ayudan a distinguirlo del tiempo objetivo (Arstila y Lloyd, 2014; Grondin, 2020; Hammond, 2013; Northoff, 2023; Wittmann, 2015). En primer lugar, el momento presente subjetivo (experiencia consciente del «ahora» o el «presente engañoso») no es un punto instantáneo que separa el pasado del futuro, sino que se extiende a lo largo de un intervalo de tiempo objetivo cuya duración se describe de diversas maneras, desde 100 milisegundos hasta 3 segundos.

En segundo lugar, la experiencia subjetiva del tiempo implica la sensación de transitar por él: un flujo continuo de tiempo en el que ocurren eventos, con el momento presente (ahora) en constante movimiento. Por el contrario, la visión predominante entre los físicos y filósofos contemporáneos es que, si bien el tiempo físico tiene una dirección, la existencia de un flujo de tiempo no existe en el espacio-tiempo físico, sino que es algo generado por la mente consciente. En otras palabras, muchos físicos argumentan que vivimos en un universo físico de bloques en 4D donde existen el pasado, el presente y el futuro (Gruber, Bach y Block, 2015; Lockwood, 2005; Petkov, 2007; Proctor, 2022; Weinert, 2013).

Una tercera propiedad del tiempo subjetivo es que la velocidad a la que transcurre el tiempo subjetivo en relación con el tiempo objetivo del reloj varía en función de numerosos factores; pueden producirse distorsiones temporales . Por ejemplo, ante un peligro repentino que amenaza la vida, muchas personas informan que los acontecimientos ocurren a cámara lenta, y muchos ancianos informan que, en general, el tiempo pasa mucho más rápido que cuando eran jóvenes. El concepto de distorsión temporal puede caracterizarse introduciendo la velocidad a la que

$$u = \frac{\Delta t_S}{\Delta t}$$

El tiempo subjetivo ts de un individuo transcurre, donde Δts es la cantidad de tiempo subjetivo transcurrido, estimada por un individuo sin acceso a un reloj, durante un intervalo objetivo de tiempo Δt. Cuando se está completamente inconsciente, u = 0, y consideramos u = 1 como la tasa normativa a la que se reporta un segundo de tiempo subjetivo durante un segundo de tiempo de reloj (véase la Figura 2). Cuando una persona experimenta un período de tiempo subjetivamente mayor que Δt (es decir, cuando un reloj parece retrasarse), se produce u > 1. Cuando una persona experimenta lo contrario, se produce u < 1. Diversas hipótesis sobre las causas físicas subyacentes.
Los mecanismos de distorsión temporal, como los de la Figura 2, incluyen cambios en la velocidad de los procesos bioquímicos/metabólicos durante las alteraciones de la temperatura corporal que afectan a los relojes neurobiológicos, alteraciones en los niveles del neurotransmisor dopamina causadas por medicamentos y la influencia de la información interoceptiva en la consciencia corporal (Hammond, 2013; Kanai, 2014; Wittmann, 2015; 2017). Sin embargo, actualmente no está claro si existe un único mecanismo que pueda explicar la sorprendente diversidad de factores que afectan la velocidad del paso del tiempo subjetivo.

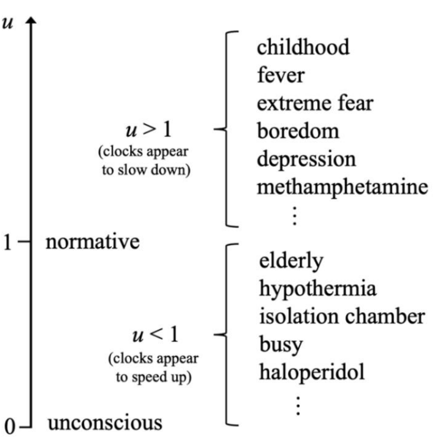


Figura 2. Ejemplos de factores que se informa que alteran la velocidad u a la que pasa el tiempo subjetivo.

3.2. Implicaciones de los campos complejos para la percepción subjetiva del flujo del tiempo

¿Cuáles son las implicaciones de los campos complejos para las teorías de la conciencia basadas en campos electromagnéticos? La noción de un espacio temporal tridimensional subyacente, presentada en la Sección 2, implica que nuestra...

El concepto de tiempo objetivo y su relación con el tiempo subjetivo es fundamentalmente incompleto. La sugerencia aquí es que la existencia de componentes de campo imaginarios refuerza la argumentación a favor de cualquier teoría electromagnética de la conciencia en términos de su capacidad explicativa respecto a las tres propiedades del tiempo subjetivo mencionadas anteriormente, como se indica a continuación.

En primer lugar, la idea de que los campos electromagnéticos se extienden tanto en el tiempo como en el espacio explica parcialmente la observación, de larga data y ampliamente aceptada, de que el momento actual de consciencia abarca un intervalo de tiempo. Que la consciencia tiene duración, en lugar de ser instantánea, suele respaldarse con el argumento razonable de que esto es necesario para la percepción del movimiento y para el procesamiento coherente de secuencias temporales (Kent y Wittmann, 2021). Este punto constituye una caracterización útil de una función que la consciencia proporciona, pero no explica los mecanismos físicos/neurobiológicos subyacentes que explican cómo podría surgir dicha consciencia no instantánea.

El concepto de campos electromagnéticos de valores imaginarios que se extienden en el tiempo proporciona un posible mecanismo físico explicativo de cómo y por qué la experiencia consciente tendría una ventana de duración.

En segundo lugar, otra consecuencia que se sigue de tomar los campos electromagnéticos como si tuvieran componentes de valores imaginarios es que, cuando uno deriva una ecuación de onda de la manera habitual a partir de las ecuaciones de Maxwell de valores complejos, las ondas electromagnéticas resultantes no solo atraviesan el espacio, sino que también se extienden naturalmente en el espacio t (Reggi En otras palabras, las ondas electromagnéticas no solo viajan a través del espacio tridimensional a lo largo del tiempo de la forma habitual, sino también a través del espacio t, aunque no podamos observar este último directamente. Esto implica que los campos electromagnéticos generados por flujos iónicos en el cerebro involucran no solo los campos espacio-temporales habituales observados con EEG y MEG, sino también una porción más persistente de ondas con valor imaginario que no observamos directamente.

Además, existe una característica sorprendente de esta porción temporal de las ondas electromagnéticas complejas que respalda específicamente su relevancia para la consciencia fenoménica. Consideremos a una persona/observador en reposo en el origen de un sistema de coordenadas espaciales donde se genera un pulso de radiación electromagnética (por ejemplo, cuando se enciende un flash) en un tiempo de reloj t. = 0 (Figura 3). Según la ecuación de onda para la electrodinámica de valor complejo, esa persona observa la conocida onda electromagnética esférica en expansión que se aleja por igual en todas las direcciones espaciales en los sucesivos instantes de reloj ta y tb (Figura 3a). La ecuación de onda compleja también predice que la porción imaginaria de esta

La misma onda forma una onda esférica en expansión similar en el espacio t, pero ahora la situación es cualitativamente diferente (ibid). Esto se debe a que la restricción de velocidad universal derivada de la relatividad especial implica que la misma persona o, en reposo en el espacio, también se mueve a una velocidad c a través del espacio t. En otras palabras, aunque no sepamos en qué dirección se mueve la persona a través del espacio temporal, una parte del frente de onda del espacio t se mueve junto con el observador; es como si la persona "viajara" sobre esta parte temporal de la onda (Figura 3b).9

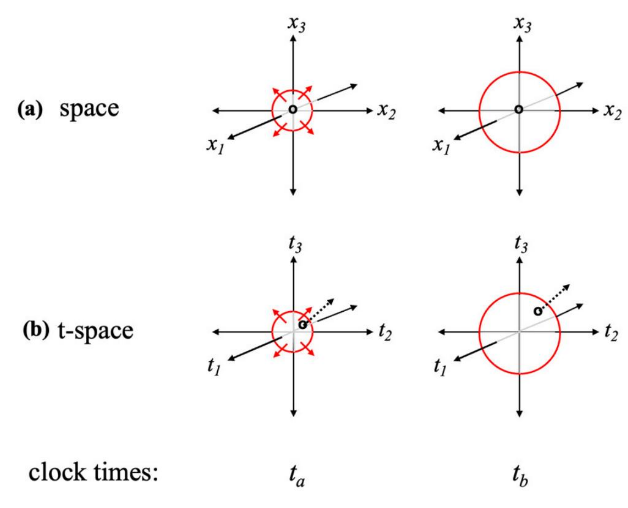


Figura 3. Instantáneas de una onda electromagnética en dos tiempos de reloj sucesivos ta y tb tras un breve pulso previo de radiación electromagnética emitido por un observador o en reposo en el origen en el espacio. (a) En el espacio vacío, la porción resultante de valor real de la onda (hiper)esférica se expande de la manera habitual mientras el observador permanece en reposo en el origen. (b) En el espacio t, la porción de valor imaginario de la onda también se expande. Sin embargo, a diferencia de (a), por la restricción de velocidad universal, ese mismo observador se mueve a través del espacio t a la velocidad c y, por lo tanto, junto con la onda a través del tiempo. Aquí solo hay una única onda hiperesférica involucrada: las porciones real e imaginaria de la onda se grafican por separado en dos gráficos tridimensionales (a) y (b) porque es difícil visualizar todos los componentes hexadimensionales de la onda.

Esto recuerda al famoso experimento mental de Einstein de alcanzar y seguir el ritmo de una onda electromagnética en el espacio. Si bien la relatividad especial prohíbe tal resultado en el espacio, en el espacio t implica que tal fenómeno sería común, aunque no directamente observable.

Esto sugiere que este aspecto único de la porción temporal de las ondas electromagnéticas tiene una profunda importancia para cualquier teoría que atribuya la experiencia consciente a los campos cerebrales. La porción acumulada, con valor imaginario, de estas ondas radiadas por el cerebro, que avanza a través del tiempo en el cerebro, de forma similar a como lo hace nuestra experiencia consciente de movernos a través del tiempo, sugiere que la porción temporal de dichas ondas con frecuencias apropiadas puede ser un aspecto fundamental de la experiencia consciente. El término "frecuencias apropiadas" se refiere aquí a las frecuencias más fuertemente correlacionadas con la consciencia (bandas de frecuencia del EEG de theta a gamma; 4-200 Hz), por lo que ni las frecuencias muy bajas asociadas con estados inconscientes como el sueño profundo o el coma (banda de frecuencia delta o inferior; ≤ 3 Hz) ni las frecuencias muy altas (kilohertz o superiores) se presumen relevantes.

Además, la porción temporal de estas ondas no es epifenoménica porque, en la materia, las ondas electromagnéticas se propagan a una velocidad menor que la de la luz y, por lo tanto, por la restricción universal de velocidad, se 'derraman'. sobre' al espacio y puede interactuar causalmente con las ondas espaciales y la materia del cerebro.10 Dada la visión dominante existente en física de que el espacio-tiempo no implica un flujo a través del tiempo, también parece probable que, dentro de la teoría aquí descrita, estas porciones temporales de ondas radiadas por el cerebro correspondan a nuestra conciencia subjetiva del flujo del tiempo. También pueden ser importantes para la autoconciencia porque la percepción del yo como un desarrollo en el tiempo está íntimamente ligada a la percepción del tiempo (Wittmann, 2015; Kent y Wittmann, 2021).

Finalmente, una tercera consecuencia de los campos electromagnéticos con componentes imaginarios es que las ondas electromagnéticas temporales implícitas pueden contribuir a explicar las variaciones en la velocidad experimentada u a la que pasa el tiempo subjetivo ts en relación con el tiempo objetivo de reloj t. Como se mencionó anteriormente, las condiciones físicas subyacentes a estas variaciones son notablemente diversas (Figura 2). La velocidad de las porciones temporales de las ondas electromagnéticas varía en función del índice de refracción n del material a través del cual pasan. Si bien el valor de n en el espacio t para el cerebro se desconoce actualmente, el análisis inicial sugiere que sería comparable al del espacio regular (Reggia, 2024b). Como resultado, cualquier cosa que pudiera alterar n para el cerebro, como los cambios de temperatura, cambiaría la velocidad de la onda a través del tiempo. Por lo tanto, además de los mecanismos mencionados anteriormente, las variaciones en

10 Esta propiedad se describe en (Reggia, 2024b), donde los vectores de campo D y H reemplazan a E y B dentro de la materia.

El índice de refracción del cerebro podría contribuir potencialmente a explicar las distorsiones temporales.

4. Memoria y Conciencia

4.1. La naturaleza de la memoria humana

Los psicólogos contemporáneos suelen considerar la memoria humana no como una entidad única, sino como un conjunto de sistemas de memoria independientes pero que interactúan entre sí, y que se distinguen por la duración de la memoria almacenada, su relación con la consciencia, su modalidad, etc. (Baddeley, Eysenck y Anderson, 2020; Michaelian, 2016; Squire y Dede, 2015). Esta arquitectura multisistémica y las interacciones entre sus componentes a lo largo del tiempo dificultan la comprensión completa de la funcionalidad de la memoria. En este artículo, consideramos dos sistemas de memoria específicos que están estrechamente vinculados a la experiencia consciente: la memoria de trabajo y la memoria episódica, y las implicaciones de los campos de valor complejo para el recuerdo de experiencias conscientes pasadas.

La memoria de trabajo se refiere a un sistema de memoria a corto plazo (de segundos a minutos) que, a diferencia de la memoria a largo plazo, tiene una capacidad de almacenamiento muy limitada de aproximadamente cuatro elementos (Baddeley, 2000; Cowan, 2001). Es ampliamente aceptado que la memoria de trabajo almacena y puede recordar experiencias conscientes (Baars y Franklin, 2003; Courtney et al., 1998; Persuh, LaRock y Berger, 2018). La memoria de trabajo se asocia más estrechamente con la actividad neuronal sostenida en las regiones corticales prefrontales (Courtney et al., 1998), pero también con otras regiones corticales bajo control prefrontal descendente (Favila, Kuhl y Winawer, 2022; Lara y Wallis, 2015) y con la actividad neuronal oscilatoria hipocampal/cortical en los rangos de frecuencia theta a gamma (Hunt y Jones, 2023). Modelos neurocomputacionales recientes han identificado posibles correlatos neurocomputacionales de la conciencia relacionada con la memoria de trabajo, como secuencias de atractores itinerantes, control descendente y cambios muy rápidos en la fuerza sináptica (Reggia, Katz y Davis, 2018; 2019).

La memoria episódica se refiere a la memoria a largo plazo (de horas a años) que registra las experiencias conscientes pasadas de un individuo (Tulving, 2002). Se distingue de otros tipos de memoria a largo plazo (semántica, procedimental, etc.) en que las experiencias almacenadas se asocian con el momento y el lugar en que se experimentaron conscientemente (qué, dónde y cuándo se recuerdan), lo que contribuye a la sensación de ser un yo consciente continuo (Dings y

McCarroll, 2022). Las experiencias pasadas se reconstruyen mediante el recuerdo con claves (Michaelian, 2016), al igual que construimos las experiencias conscientes originales. Durante la vigilia, los eventos conscientes se almacenan continuamente en la memoria episódica y algunos persisten durante muchos años. Si bien muchas experiencias conscientes parecen olvidarse rápidamente, la memoria episódica posee una enorme capacidad de almacenamiento, atribuida principalmente al almacenamiento de rastros de memoria como cambios en la intensidad sináptica del hipocampo y la corteza (Brady et al., 2008).

Los elementos almacenados tienen un carácter distintivo en el sentido de que durante el recuerdo uno experimenta un flujo temporal de los eventos involucrados reexperimentados conscientemente más una sensación de viajar en el tiempo ("viaje en el tiempo mental") (Baddeley, Eysenck y Anderson, 2020).

La memoria episódica depende críticamente del hipocampo y sus interacciones con las regiones corticales sensoriales y prefrontales a través de conexiones bidireccionales (Kim, 2011; Moscovitch et al., 2016). Una literatura sustancial respalda la idea de que las células del tiempo y las células de lugar en el hipocampo forman un mapa cognitivo del espacio-tiempo que es crucial para recuperar experiencias recordadas basadas en oscilaciones theta y de mayor frecuencia (Benna y Fusi, 2021; Buzsaki, 2015; Eichenbaum, 2014; Griffiths y Jensen, 2023; Moser, Rowland y Moser, 2015; Shimbo, Izawa y Fujisawa, 2021). El hipocampo aparentemente proporciona una función de indexación para la codificación/

Recuperar experiencias conscientes que, durante el recuerdo, activan las mismas regiones sensoriales corticales que los eventos originales experimentados (Favila, Kuhl y Winawer, 2022). Los recuerdos almacenados experimentan un proceso de consolidación durante el cual el hipocampo reproduce episodios conscientes previos en la corteza, especialmente durante el sueño, lo que resulta en que la evocación de la memoria se vuelva cada vez más independiente del hipocampo (Squire et al., 2015).

La Figura 4a ilustra el panorama general que surge de las teorías previas de la conciencia basadas en campos electromagnéticos, en el contexto de esta caracterización ampliamente aceptada de los sistemas de memoria. La experiencia consciente se produce durante un breve lapso de tiempo mediante la activación neuronal y los campos electromagnéticos que la acompañan. Un subconjunto de eventos experimentados conscientemente se retiene brevemente en la memoria de trabajo mediante cambios rápidos de peso cortical y actividad neuronal persistente. Algunos de estos eventos también se retienen mediante cambios sinápticos a largo plazo en el hipocampo y la corteza cerebral,11 posiblemente convirtiéndose en hipocampo-

11 Quizás también se retenga en cambios estructurales de astrocitos, biomoléculas, etc.

Independiente (consolidación). El punto crucial es que se supone que todos los recuerdos de eventos recientes o distantes se almacenan en patrones persistentes de activación neuronal o cambios sinápticos estructurales que existen en el momento presente.

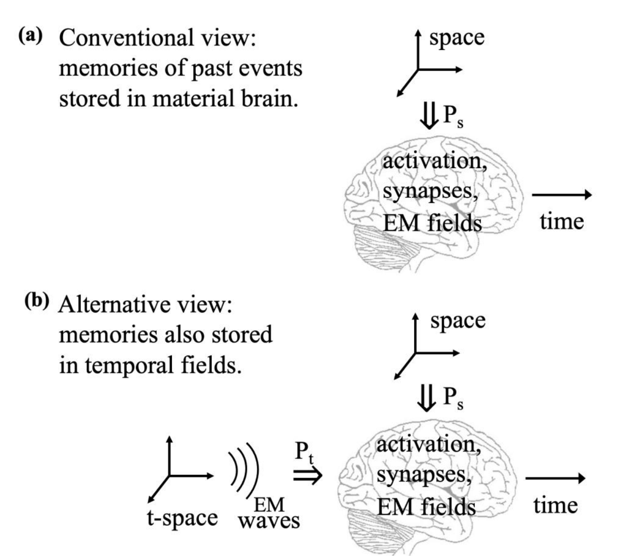


Figura 4. Posibilidades contrastantes para los mecanismos subyacentes a la memoria a largo plazo de experiencias conscientes, o memoria episódica. (a) Actualmente concepción aceptada del cerebro experimentando la percepción de eventos externos que ocurren en el espacio (Ps), con todas las representaciones a largo plazo de experiencias conscientes pasadas almacenadas en la estructura actual del cerebro como actividad neuronal, fortalezas sinápticas y campos electromagnéticos. (b) Adiciones hipotéticas a los mecanismos en (a) donde los mecanismos subyacentes a la memoria episódica ahora incluyen la percepción de ondas electromagnéticas que llegan a través del espacio temporal (Pt).

4.2. Implicaciones de los campos complejos para la interpretación del recuerdo de experiencias conscientes pasadas

Permitir que los campos electromagnéticos tengan componentes complejos sugiere que, si bien todos los mecanismos neurobiológicos mencionados siguen siendo válidos, existe un posible contribuyente adicional a la memoria episódica humana. Específicamente, las partes imaginarias de los componentes del campo sugieren la posibilidad radical de que las ondas electromagnéticas generadas por la actividad neuroeléctrica que ocurre durante las experiencias conscientes puedan desempeñar un papel central en la memoria episódica. Esto se ilustra en la Figura 4b. En lugar de que las experiencias conscientes pasadas sean exclusivamente...

Almacenadas como rastros de memoria en la estructura cerebral, tal como se concibe actualmente, también se capturan en los patrones espacio-temporales de las ondas electromagnéticas que se propagan a través del tiempo dentro del cerebro (véase la Figura 3b). Esto quizás se comprenda mejor mediante una analogía con nuestra percepción de la información sensorial derivada del entorno espacial.

Por ejemplo, consideremos los fenómenos visuales. Lo que se propone aquí es que el proceso físico subyacente al recuerdo de experiencias visuales conscientes pasadas implica literalmente "mirar atrás" a través del tiempo, en el sentido de que se percibe información transmitida a través de la porción temporal de las ondas electromagnéticas que se propagan a través del tiempo dentro del cerebro (Pt en la Figura 4b). En otras palabras, al recordar eventos visuales conscientes pasados, literalmente "vemos" estos eventos pasados experimentados conscientemente tal como ocurrieron en el cerebro, tal como percibimos visualmente los eventos que ocurren en nuestro entorno espacial con nuestro sistema visual espacial habitual. La información transmitida a través de la porción temporal de las ondas electromagnéticas se detectaría por su persistencia en la actividad cerebral espacial (véase la Sección 2).

Esto proporciona una explicación convincente de por qué muchos psicólogos han caracterizado el recuerdo de memorias episódicas como una forma de "viaje mental en el tiempo", ya que consiste literalmente en revivir los campos electromagnéticos que se produjeron durante eventos pasados. Implica un proceso perceptivo, además del proceso tradicional de recordar y reconstruir, que utiliza únicamente la información almacenada en la estructura material del cerebro en el momento del recuerdo. Esto también ayuda a explicar la enorme capacidad de memoria de la memoria episódica mencionada anteriormente: nuestra capacidad de recordar tantos eventos, rostros, etc., secuenciales del pasado, ocurridos a lo largo de la vida. En lugar de tener que almacenar toda esta información en las conexiones sinápticas del cerebro, gran parte de ella se almacena en campos electromagnéticos espaciotemporales modulados. Además, esto ayuda a explicar nuestra capacidad de almacenar continuamente episodios inmediatamente en la memoria después de ocurrencias únicas ("aprendizaje de una sola vez"): la retención de información en las ondas electromagnéticas minimiza los cambios sinápticos involucrados. La pérdida gradual de recuerdos episódicos a lo largo del tiempo y la pérdida de detalles relativos a las experiencias conscientes más antiguas también es coherente con la atenuación de las ondas electromagnéticas que viajan a través de la materia.

Por supuesto, existen algunas diferencias significativas entre la percepción visual de eventos espaciales y la percepción temporal de experiencias pasadas. Por ejemplo, la radiación electromagnética que percibimos en nuestra retina es la luz reflejada por objetos y eventos.

Ocurre en el espacio. En contraste, con el recuerdo de experiencias visuales pasadas, las hipotéticas ondas electromagnéticas del espacio temporal percibidas son autogeneradas internamente por el cerebro, en lugar de reflejarse desde objetos externos, y estas ondas no se producen en frecuencias remotamente cercanas a las ópticas.

Además, se podría objetar considerar la memoria episódica como en parte un proceso perceptivo, en lugar de únicamente un proceso de almacenamiento y reconstrucción basado en rastros de memoria registrados en el cerebro, porque aparentemente no se conoce ningún órgano sensorial análogo a la retina para percibir la información de las ondas del espacio t, y aparentemente no se conoce ningún mecanismo análogo a los músculos extraoculares para centrarse en experiencias pasadas específicas basándose en su ubicación espaciotempor El argumento aquí es que dichos órganos y mecanismos existen, pero no se han reconocido como tales debido a que se desconoce el concepto de la porción temporal de las ondas electromagnéticas que atraviesan el espacio t, y a que no es necesario que estos órganos sensoriales se extiendan externamente al cuerpo ni a todo el cuerpo (interocepción). Esto se debe a que las ondas electromagnéticas implicadas se generan y se detectan directamente en el cerebro.

Específicamente, se ha planteado la hipótesis de que áreas sensoriales corticales como las del sistema visual (V1-V4, etc.) funcionan de forma análoga a la retina durante el recuerdo de experiencias conscientes. Esto concuerda con los hallazgos experimentales que indican que estas regiones corticales se activan durante el recuerdo de forma similar a su activación durante la experiencia consciente inicial (Slotnick, 2017), pero con diferencias en el tamaño del campo receptivo y un flujo de información más descendente (Favila, Kuhl y Winawer, 2022). De igual manera, la recuperación de episodios recordados, basada en sus propiedades asociadas de qué-dónde-cuándo, estaría dirigida por el hipocampo (recuerde las células hipocampales de tiempo y lugar), que, en ese sentido, podría considerarse un análogo no mecánico de los músculos extraoculares que enfocan la visión regular en una ubicación espacial.

Por último, los mecanismos perceptivos hipotéticos subyacentes a la memoria episódica basada en la porción temporal de las ondas electromagnéticas siguen siendo consistentes con los efectos conductuales de los trastornos neuropatológicos como la amnesia y la sección del cuerpo calloso. Si bien tiene sentido considerar primero las explicaciones existentes para estos trastornos, también es útil considerar cuáles serían las implicaciones para ellos de la existencia de campos electromagnéticos de valores complejos. Los sujetos con lesiones hipocampales bilaterales (el famoso paciente HM, amnesia postraumática, algunas formas de enfermedad de Alzheimer, etc.) conservan la experiencia consciente y la memoria de trabajo, pero a menudo presentan

Amnesia retrógrada (incapacidad para recordar experiencias conscientes pasadas) y amnesia anterógrada (incapacidad para formar nuevos recuerdos de experiencias conscientes) mientras se sigue siendo capaz de aprender otros tipos de información (Baddeley, Eysenck y Anderson, 2020; Slotnick, 2017). Esto es coherente con la incapacidad de "retroceder" a la información en el Las porciones temporales de ondas de valor complejo se enfocan debido a la pérdida del control hipocampal sobre dicho proceso. En este escenario, cabría esperar que las experiencias conscientes recientes, incluyendo las ocurridas tras un daño hipocampal, se perdieran (ya no se percibieran), mientras que algunos recuerdos más antiguos se conservarían selectivamente, esto último debido a su consolidación previa mediante cambios sinápticos corticales.

Consideraciones similares se aplican a sujetos con cerebro dividido a quienes se les ha seccionado el cuerpo calloso. Al examinarlos con atención, estos sujetos se comportan como si cada hemisferio tuviera un conjunto de recuerdos episódicos específicos de sus propias experiencias conscientes (Zaidel et al., 2003). Esta aparente pérdida de la unidad de la conciencia tiene sentido desde una perspectiva tradicional (los hemisferios están desconectados entre sí, por lo que se pierde la unidad de la conciencia), pero es un hallazgo desconcertante desde la perspectiva de las teorías previas del campo electromagnético. La sección de las fibras callosas debería permitir que los campos distribuidos espacialmente de los hemisferios separados se entremezclen a través del espacio interhemisférico, ahora lleno de líquido cefalorraquídeo, y por lo tanto, no se esperaría que produjera dicho resultado. En cambio, asociar la consciencia con las porciones de ondas del campo electromagnético que se desplazan a través del espacio temporal, como se describió anteriormente, no presenta este problema. Esta porción de la onda electromagnética de cada hemisferio, aproximada como una onda plana durante largos períodos de tiempo, estaría restringida espacialmente en gran medida al hemisferio que la generó, en consonancia con el recuerdo especializado observado de experiencias conscientes pasadas por los dos hemisferios aislados.

5. Discusión

La idea de que los campos electromagnéticos endógenos del cerebro son la base física de la conciencia existe desde hace varias décadas.
Trabajos anteriores que involucran teorías electromagnéticas de la conciencia (ejemplos en la Tabla 1) han presentado argumentos convincentes de por qué esto es plausible, incluidos los muchos correlatos de los campos electromagnéticos del cerebro con estados de conciencia, su contribución para explicar la unidad de la conciencia y resolver el problema de la vinculación, y su participación en interacciones causales bidireccionales con las neuronas del cerebro

Actividad. Sin embargo, este trabajo sigue incompleto. Por ejemplo, las teorías electromagnéticas existentes sobre la conciencia discrepan entre sí en cuanto a qué propiedades de estos campos o sus interacciones con el cerebro se correlacionan con los qualia. Ni estas (ni las nuevas ideas teóricas presentadas en este artículo) resuelven el complejo problema de la experiencia consciente ni proporcionan una explicación convincente de cómo la dinámica de los campos explica la variedad de qualia.

Gran parte del trabajo anterior sobre las teorías del campo electromagnético de la conciencia se ha basado correctamente en las ecuaciones de Maxwell, las leyes fundamentales que sustentan el electromagnetismo, pero durante mucho tiempo ha habido controversia entre los físicos sobre si estas ecuaciones son incompletas (Griffiths, 2017; Zangwill, 2013) o incluso inconsistentes (Frisch, 2005). Recientemente se ha demostrado que es posible abordar esta cuestión manteniendo la coherencia con los hallazgos experimentales, asumiendo que los campos electromagnéticos tienen valores complejos. Bajo una interpretación temporal de sus componentes de valor imaginario, se ha predicho que los campos electromagnéticos se extienden en el tiempo y no solo en el espacio, y que las ondas electromagnéticas viajarían a través del tiempo y del espacio de maneras novedosas (Reggia, 2024b).

En resumen, este artículo plantea la pregunta: ¿cómo afecta la suposición de la existencia de campos electromagnéticos de valor complejo a las teorías electromagnéticas de la conciencia? Es totalmente posible a priori que esta suposición conduzca a predicciones novedosas que sean incompatibles con nuestro conocimiento actual sobre las propiedades de la conciencia. Sorprendentemente, se ha descubierto que esto no es así, y que, por el contrario, la existencia de campos de valor complejo aumenta sustancialmente la capacidad explicativa de la idea de que los campos electromagnéticos forman parte de la base de la conciencia, especialmente al explicar algunos aspectos subjetivos de la percepción del tiempo y algunos aspectos de la naturaleza de la memoria episódica. Esta es una observación notable, ya que estas características no se incorporaron a la hipótesis de que los campos electromagnéticos tienen componentes de valor imaginario ni a las ecuaciones de Maxwell de valor complejo resultantes que rigen el electromagnetismo clásico. Por el contrario, estas características emergen del análisis matemático posterior de las implicaciones de estas ecuaciones de valor complejo. La contribución de estas características derivadas a las teorías electromagnéticas de la conciencia existentes se puede resumir de la siguiente manera.

En primer lugar, una característica bien conocida de la experiencia consciente es que se extiende en el tiempo, y cada momento consciente tiene una duración estimada de entre 100 milisegundos y 3 segundos (Arstila y Lloyd,

2014). Evidentemente, el «Ahora» consciente subjetivo no es una frontera infinitesimal entre el pasado y el futuro, sino que tiene una duración significativa. Si se asocia la consciencia con el estado instantáneo de los campos electromagnéticos convencionales, como se hace implícitamente en la actualidad, no queda claro cómo las teorías electromagnéticas existentes sobre la consciencia pueden explicar esta duración prolongada observada en un momento consciente. Sin embargo, la existencia de campos de valor complejo ofrece una posible explicación novedosa para esta propiedad de la experiencia consciente: se produce porque dichos campos se extienden no solo en el espacio, sino también en el tiempo, y su estado en cualquier momento, por definición, tiene duración.

Otra predicción de las ecuaciones de Maxwell de valor complejo es la existencia implícita de ondas electromagnéticas que se propagan no solo a través del espacio sino también a través del tiempo. Específicamente, dichas ondas generadas por la actividad neuronal en el cerebro no solo se propagarían espacialmente por todo el cerebro casi instantáneamente, como se reconoce actualmente, sino que partes de dichas ondas permanecerían en el cerebro, propagándose a través del tiempo. Curiosamente, la velocidad de propagación de las ondas a través del tiempo corresponde a la velocidad a la que nuestro «Ahora» experimentado conscientemente se propaga a través del tiempo. Esto sugiere que nuestra experiencia consciente se basa en la porción temporal de dichas ondas, que constituye, por lo tanto, un aspecto específico de los campos electromagnéticos que contribuyen a la experiencia consciente. Esto explica por qué tenemos una sensación subjetiva de un flujo progresivo del tiempo, a pesar de que la teoría física contemporánea dominante sostiene que el tiempo es un fenómeno estático que no fluye en ningún sentido (Lockwood, 2005; Petkov, 2007; Proctor, 2022; Weinert, 2013). Podría decirse que esto sugiere que la experiencia subjetiva del flujo del tiempo se ve mejor como un tipo de qualia interoceptiva porque este flujo en realidad no existe en el mundo físico, al igual que otros qualia como el enrojecimiento y el sabor de una manzana no existen.

Los cambios en la velocidad con que la actividad de las ondas temporales se propaga en el cerebro en diferentes condiciones físicas también pueden contribuir a explicar por qué el tiempo subjetivo puede parecer acelerarse o desacelerarse en relación con el tiempo objetivo del reloj.

Las porciones temporales persistentes de ondas electromagnéticas complejas en el cerebro también sugieren una posible reinterpretación radical de los mecanismos físicos subyacentes al recuerdo de experiencias conscientes pasadas.

Bajo esta novedosa interpretación, la memoria episódica humana ya no se considera únicamente como el recuerdo/reconstrucción de eventos pasados vividos conscientemente, almacenados físicamente en la estructura cerebral como rastros materiales. En cambio, el recuerdo de experiencias personales pasadas, aunque aún depende de cambios sinápticos en el hipocampo y el cerebro,

La corteza cerebral se convierte, en parte, en un proceso perceptivo en el que uno literalmente "ve" eventos pasados de nuevo utilizando las mismas regiones sensoriales corticales que se usaron durante las experiencias originales. Esta interpretación revisada de la memoria episódica ayudaría a explicar su gran capacidad de almacenamiento, y el valor de supervivencia que esto conllevaría podría explicar por qué, en el contexto de la actividad electromagnética oscilatoria continua en el cerebro, este evolucionaría para aprovechar la información adicional proporcionada por las porciones temporales de las ondas de campo. La memoria episódica que incorpora un proceso perceptivo también explicaría por qué a los psicólogos les ha resultado tan útil caracterizar la evocación de la memoria episódica como una forma de «viaje mental en el tiempo» (Baddeley, Eysenck y Anderson, 2020). Además, un mecanismo similar a la percepción también es coherente con los hallazgos experimentales de la literatura psicológica que indican que la probabilidad de olvidar eventos experimentados conscientemente aumenta con su distancia temporal en el pasado (Brown y Chater, 2001) — esto es lo que se esperaría debido a los efectos de interferencia y atenuación de las ondas temporales.

La perspectiva aquí adoptada es que cada experiencia consciente inicial y su posterior almacenamiento a largo plazo en la memoria episódica pueden considerarse mejor como parte de un único proceso de memoria. Esta perspectiva implica que la experiencia consciente durante el momento presente es, en efecto, la vanguardia de la memoria de trabajo y la memoria episódica, en lugar de ser una entidad independiente de la memoria. Esta perspectiva también es coherente con la evidencia experimental de que lo que experimentamos como el momento presente consciente se encuentra, en realidad, aproximadamente entre 300 y 500 milisegundos en el pasado (Dehaene, 2014; Libet, 2004; Salti et al., 2015). La implicación es que una mayor comprensión de los mecanismos que subyacen a la memoria humana y su relación con los campos espacio-temporales del cerebro probablemente será fundamental para una mejor comprensión de la base física de la conciencia fenomenal.

Los campos de valor complejo no contradicen obviamente ninguno de los posibles tipos de qualia hipotetizados por las teorías electromagnéticas previas de la conciencia enumeradas en la Tabla 1, pero les añaden el aspecto adicional de la extensión temporal de los campos, especialmente los patrones en la porción temporal de las ondas, como se describió anteriormente. Estos campos también respaldan la creencia generalizada de que algunos animales no humanos son conscientes, mientras que las computadoras contemporáneas no lo son (Reggia, Huang y Katz, 2015). Además, plantean la posibilidad de crear máquinas conscientes (Chella y Manzotti, 2007; Haikonen, 2019; Perlis y Brody, 2019; Reggia, 2013; Reggia, Katz y Davis, 2020), pero haciendo

Por lo tanto, se basa en generar campos electromagnéticos apropiados en lugar de inspirarse en las computadoras digitales actuales.

Según los conceptos discutidos anteriormente, la consciencia surge dentro de una entidad física en asociación con la porción temporal de las ondas electromagnéticas generadas en dicha entidad. Actualmente, solo existe evidencia de que la consciencia ocurre en ciertas frecuencias de ondas neurofisiológicas. Si bien no hay una razón definitiva para creer que no pueda ocurrir también en otras frecuencias, el hecho de que estas mismas frecuencias y patrones oscilatorios (actividad alfa neocortical, husos de sueño, ondas hipocampales, etc.) se conserven en todas las especies de mamíferos estudiadas (desde ratones hasta grandes mamíferos acuáticos), independientemente del tamaño del cerebro (Buzsaki, 2013), sugiere que estas frecuencias son funcionalmente importantes para la existencia de la consciencia basada en campos electromagnéticos. Se puede especular que las bajas frecuencias de la actividad electromagnética del cerebro (bajas en relación con las frecuencias de microondas/ópticas) se deben no solo a la minimización del uso de energía, sino también a la minimización de la atenuación de la ondas.

Como se señaló en la Introducción, las ideas presentadas en este artículo son especulativas. La hipótesis de que los campos electromagnéticos poseen campos de valor imaginario previamente desconocidos se aleja radicalmente de la electrodinámica estándar. Si bien se han propuesto pruebas experimentales que podrían confirmar o refutar estas predicciones (Reggia, 2024b), aún no se han realizado, por lo que los campos electromagnéticos complejos deben considerarse solo un concepto teórico por el momento. Lo sorprendente de esta hipótesis es que no presenta inconsistencias con los hallazgos experimentales existentes y que, como se describe en el presente artículo, formula predicciones que parecen coherentes con diversas propiedades de la consciencia.

En cuanto a esto último, se necesita mucha más investigación teórica para aclarar los detalles cuantitativos de los campos electromagnéticos complejos en el cerebro, de modo que se puedan diseñar pruebas experimentalmente refutables. Por ejemplo, ¿cómo modularía el cerebro dichas ondas para transportar información compleja al futuro? Si bien se sabe que las ondas electromagnéticas clásicas transmiten información (modulación de ondas de radio, ondas de luz que inciden en la retina, etc.), actualmente se desconoce cómo se produciría dicha modulación en el cerebro a frecuencias de EEG relevantes. Las pruebas experimentales deberían incluir no solo fenómenos electrodinámicos, como la escala temporal de la persistencia de las ondas en el espacio t, sino también predicciones relacionadas con la sensación subjetiva del paso del tiempo y las propiedades de la memoria episódica. También

sería útil ampliar el marco teórico actual desde la electrodinámica puramente clásica para incorporar la electrodinámica cuántica.

Referencias

Arstila, V. y Lloyd, D. (eds.) (2014) Tiempo subjetivo, Cambridge, MA: MIT Prensa.

Baars, B. y Franklin, S. (2003) Cómo interactúan la experiencia consciente y la memoria de trabajo, Tendencias en Ciencias Cognitivas, 7 (4), págs. 166-172. doi: 10.1016/S1364-6613(03)00056-1

Baddeley, A. (2000) Memoria de corto plazo y de trabajo, en Tulving, E. y Craik, F. (eds.) El manual Oxford de la memoria, págs. 77–92, Oxford: Oxford University Press.

Baddeley, A., Eysenck, M. y Anderson, M. (2020) Memory, Nueva York: Routledge.

Benna, M. y Fusi, S. (2021) Las células de lugar pueden ser simplemente células de memoria, Actas de la Academia Nacional de Ciencias, 118 (51), e2018422118. doi: 10.1073/pnas.2018422118

Bond, E. (2023) La contribución de la teoría del campo de coherencia a un modelo de conciencia, Frontiers in Human Neuroscience, 16, art. 1020105. doi: 10.3389/fnhum.2022.1020105

Brady, T., Konkle, T., Alvarez, G. y Oliva, A. (2008) La memoria visual a largo plazo tiene una capacidad masiva de almacenamiento para detalles de objetos, Actas de la Academia Nacional de Ciencias, 105 (38), págs. 14325–14329. doi: 10.1073pnas.0803390105

Brown, G. y Chater, N. (2001) La organización cronológica de la memoria, en Hoerl, C. y McCormack, T. (eds.) Tiempo y memoria, págs. 77-110, Oxford: Oxford University Press.

Buzsaki, G. (2013) Escalando el tamaño del cerebro, manteniendo el ritmo, Neuron, 80, págs. 751–764. doi: 10.1016/j.neuron.2013.10.002

Buzsaki, G. (2015) Ondulación aguda del hipocampo, Hippocampus, 25, págs. 1073–1188. doi: 10.1002/hipo.22488

Chella, A. y Manzotti, R. (2007) Conciencia artificial, Exeter: Pie de imprenta Académico.

Courtney, S., Petit, L., Haxby, J. y Ungerleider, L. (1998) El papel de la corteza prefrontal en la memoria de trabajo, Philosophical Transactions of the Royal Society of Londres, B, 353, págs. 1819–1828. doi: 10.1098/rstb.1998.0334

Cowan, N. (2001) El número mágico 4 en la memoria a corto plazo, Behavioral and Ciencias del Cerebro, 24, págs. 87–185. doi: 10.1017/s0140525x01003922

Dehaene, S. (2014) Conciencia y cerebro, Nueva York: Viking.

Dings, R. y McCarroll, C. (2022) La fenomenología compleja de la memoria episódica, Journal of Consciousness Studies, 29 (11), págs. 29–55. doi: 10.53765/20512201.29.11.029

Eichenbaum, H. (2014) Células del tiempo en el hipocampo, Nature Reviews Neuro-Ciencia, 15, págs. 732–744. doi: 10.1038/nrn3827

Favila, S., Kuhl, B. y Winawer, J. (2022) La percepción y la memoria tienen propiedades de ajuste espacial distintas en la corteza visual humana, Nature Communications, 13, art. 5864. doi: 10.1038/s41467-022-33161-8

Fingelkurts, A. y Fingelkurts, A. (2008) Imágenes arquitectónicas cerebro-mente, Open Neuroimaging Journal, 2, págs. 73-93. doi: 10.2174/1874440000802010073

Frisch, M. (2005) Inconsistencia, asimetría y no localidad, Oxford: Oxford University Press.

Frohlich, F. y McCormick, D. (2010) Los campos eléctricos endógenos pueden guiar la actividad de la red neocortical, Neuron, 67, págs. 129-143. doi: 10.1016/j.neuron. 2010.06.005

Griffiths, B. y Jensen, O. (2023) Oscilaciones gamma y memoria episódica, Tendencias en Neurociencias, 46, págs. 832–846. doi: 10.1016/j.tins.2023.07.003

Griffiths, D. (2017) Introducción a la electrodinámica, Cambridge: Cambridge Uni- Prensa universitaria.

Grondin, S. (2020) La percepción del tiempo, Nueva York: Routledge.

Gruber, R., Bach, M. y Block, R. (2015) Percibiendo dos niveles del flujo del tiempo, Journal of Consciousness Studies, 22 (5–6), págs. 7–22.

Haikonen, P. (2019) Conciencia y sensibilidad robótica, Singapur: World Científico.

Hales, C. (2014) Los orígenes del campo electromagnético endógeno del cerebro y su relación con la provisión de conciencia, Journal of Integrative Neuro-science, 13, págs. 313–361. doi: 10.1142/S0219635214400056

Hales, C. y Ericson, M. (2022) El puente del electromagnetismo sobre la brecha explicativa, Frontiers in Human Neuroscience, 16, art. 836046. doi: 10.3389/ fnhum.2022.836046

Hammond, C. (2013) Time Warped, Nueva York: Harper.

Hunt, T. y Schooler, J. (2019) La «parte fácil» del problema difícil: Una teoría de resonancia de la conciencia, Authorea. doi: 10.22541/au.154659223.37007989 Hunt, T. y

Jones, M. (2023) ¿Campos o disparos? Comparación del código de picos y la hipótesis del campo electromagnético, Frontiers in Psychology, 14, art. 1029715. doi: 10.3389/ fpsyg.2023.1029715

Jones, M. (2017) Creciente evidencia de que las mentes son campos electromagnéticos neuronales que interactúan con los cerebros, Journal of Consciousness Studies, 24 (1–2), págs. 159–183.

Jones, M. (2024) ¿Una solución mente-cuerpo simple y comprobable?, Journal of Conscious-ness Studies, 31 (1–2), págs. 51–75. doi: 10.53765/20512201.31.1.051

Jones, M. y Hunt, T. (2023) Teorías de los qualia basadas en campos electromagnéticos: ¿Pueden mejorar la neurociencia estándar?, Frontiers in Psychology, 14, art. 1015967. doi: 10.3389/fpsyg.2023.1015967

Kanai, R. (2014) Distorsión ilusoria de la percepción subjetiva del tiempo, en Arstila, V. y Lloyd, D. (eds.) Subjective Time, págs. 343–354, Cambridge, MA: MIT Press.

Kent, L. y Wittmann, M. (2021) Conciencia del tiempo: el eslabón perdido en las teorías de la conciencia, Neurociencia de la Conciencia, 7 (2), niab011. doi: 10.1093/ nc/niab011

Keppler, J. y Shani, I. (2020) Cosmopsiquismo e investigación de la conciencia, Frontiers in Psychology, 11, art. 371. doi: 10.3389/fpsyg.2020.00371

Kim, H. (2011) Actividad neuronal que predice la memoria y el olvido posteriores: un metaanálisis, NeuroImage, 54, págs. 2446–2461. doi: 10.1016/j.neuroimage. 2010.09.045

LaBerge, D. y Kasevich, R. (2007) La teoría de la dendrita apical de la conciencia, Neural Networks, 20, págs. 1004-1020. doi: 10.1016/j.neunet.2007.09.006 Lara, A. y

Wallis, J. (2015) El papel de la corteza prefrontal en la memoria de trabajo, Frontiers in Systems Neuroscience, 9, art. 173. doi: 10.3389/fnsys.2015.00173

Libet, B. (2004) Mind Time, Cambridge, MA: Harvard University Press.

Lockwood, M. (2005) El laberinto del tiempo, Oxford: Oxford University Press.

MacIver, M. (2022) Conciencia e interacciones del campo electromagnético interno, Frontiers in Human Neuroscience, 16, art. 1032339. doi: 10.3389/fnhum.2022. 1032339

McFadden, J. (2002) Disparo sincrónico y su influencia en el campo electromagnético del cerebro, Journal of Consciousness Studies, 9 (4), págs. 23–50.

McFadden, J. (2020) Integración de información en el campo electromagnético del cerebro, Neurociencia de la Conciencia, 6, niaa016. doi: 10.1093/nc/niaa016

McFadden, J. (2023) Conciencia: ¿materia o CEM?, Frontiers in Human Neuroscience, 16, art. 1024934. doi: 10.3389/fnhum.2022.1024934

Mermin, N. (2005) Ya era hora, Princeton, NJ: Princeton University Press.

Michaelian, K. (2016) Viaje en el tiempo mental, Cambridge, MA: MIT Press.

Moscovitch, M., Cabeza, R., Winocur, G. y Nadel, L. (2016) Memoria episódica y más allá, Annual Review of Psychology, 67, págs. 105-124. doi: 10.1146/ annurev-psych-113011-143733

Moser, M., Rowland, D. y Moser, E. (2015) Células de lugar, células de cuadrícula y memoria, Cold Spring Harbor Perspectives in Biology, 7, art. a021808.

Northoff, G. (2023) Neuroondas: Cerebro, Tiempo y Conciencia, Montreal: Universidad McGill-Queens.

Ornstein, R. (1997) Sobre la experiencia del tiempo, Boulder, CO: Westview Press.

Penrose, R. (2022) La conciencia debe estar más allá de la física computable, New Scientist, 14 de noviembre.

Perlis, D. y Brody, J. (2019) Operacionalizando la conciencia, Simposio AAAI: Hacia sistemas de IA conscientes, Stanford, CA.

Persuh, M., LaRock, EW y Berger, J. (2018) Memoria de trabajo y conciencia, Frontiers in Human Neuroscience, 12, art. 78. doi: 10.3389/fnhum.2018. 00078

Petkov, V. (2007) Sobre la realidad del espacio de Minkowski, Fundamentos de la Física, 37, págs. 1499–1502. doi: 10.1007/s10701-007-9178-9

Pockett, S. (2000) La naturaleza de la conciencia: una hipótesis, Lincoln, NE: Writers Club Press.

Pockett, S. (2012) La teoría del campo electromagnético de la conciencia, Journal of Estudios de la Conciencia, 19 (11–12), págs. 191–223.

Proctor, A. (2022) Sobre el tiempo, la causalidad y el universo de bloques, Londres: Clink Calle.

Reggia, J. (2024b) Maximización de la simetría de las ecuaciones de Maxwell, Frontiers in Physics, 12, art. 1388397. doi: 10.3389/fphy.2024.1388397

Reggia, J., Huang, D. y Katz, G. (2015) Creencias sobre la naturaleza de la conciencia, Journal of Consciousness Studies, 22 (5–6), págs. 146–171.

Reggia, J., Katz, G., Davis, G. (2018) Robots cognitivos humanoides que aprenden por imitación: implicaciones para los estudios de la conciencia, Frontiers in Robotics and AI, 5. doi: 10.3389/ frobt.2018.00001

Reggia, J., Katz, G. y Davis, G. (2019) Modelado de la memoria de trabajo para identificar correlatos computacionales de la conciencia, Open Philosophy, 2, págs. 252-269. doi: 10.1515/opphil-2019-0022

Reggia, J., Katz, G. y Davis, G. (2020) Inteligencia artificial consciente, Journal of Artificial Intelligence and Consciousness, 7, págs. 1–13. doi: 10.1142/S270507852050006X

Romijn, H. (2002) ¿Son los fotones virtuales los portadores elementales de la conciencia?, Journal of Consciousness Studies, 9 (1), pp. 61–81.

Salti, M., Monto, S., Charles, L., King, J., Parkkonen, L. y Dehaene, S. (2015) Códigos corticales distintos y dinámica temporal para percepciones conscientes e inconscientes, eLife, 4, art. e05652. doi: 10.7554/eLife.05652

Shimbo, A., Izawa, E. y Fujisawa, S. (2021) Representación escalable del tiempo en el hipocampo, Science Advances, 7, art. eabd7013. doi: 10.1126/sciadv.abd7013

Slotnick, S. (2017) Neurociencia cognitiva de la memoria, Cambridge: Cambridge University Press.

Squire, L. y Dede, A. (2015) Sistemas de memoria consciente e inconsciente, Cold Spring Harbor Perspectives in Biology, 7, art. a021667. doi: 10.1101/cshperspect.a021667

Squire, L, Genzel, L., Wixted, J. y Morris, R. (2015) Consolidación de la memoria, Cold Spring Harbor Perspectives in Biology, 7, art. a021766. doi: 10.1101/cshperspect.a021766

Stinner, A. (2002) Cálculo de la edad de la Tierra y el Sol, Physics Educa- ción, 37, págs. 296–305. doi: 10.1088/0031-9120/37/4/302

Tulving, E. (2002) Memoria episódica, Annual Review of Psychology, 53, págs. 1–25. doi: 10.1146/annurev.psych.53.100901.135114

Ward, L. y Guevara, R. (2022) Los qualia y la conciencia fenoménica surgen de la estructura de información de un campo electromagnético en el cerebro, Frontiers in Human Neuroscience, 16, art. 874241. doi: 10.3389/fnhum.2022.874241

Weinert, F. (2013) La marcha del tiempo, Berlín: Springer-Verlag.

Wigner, E. (1969) ¿Somos máquinas?, Actas de la American Philosophical Sociedad, 113 (2), págs. 95–101.

Wittmann, M. (2015) Modulaciones de la experiencia del yo y del tiempo, Conciencia y Cognición, 38, págs. 172-181. doi: 10.1016/j.concog.2015.06.008

Wittmann, M. (2017) Tiempo sentido, Cambridge, MA: MIT Press.

Zaidel, E., Iacoboni, M., Zaidel, D. y Bogen, J. (2003) Los síndromes callosos, en Heilman K. y Valenstein, E. (eds.) Neuropsicología clínica, págs. 347–403, Oxford: Oxford University Press.

Zangwill, A. (2013) Electrodinámica moderna, Cambridge: Universidad de Cambridge Prensa.

Artículo recibido en junio de 2024; revisado en octubre de 2024.

Apéndice:
Ecuaciones de Maxwell de valor complejo

Actualmente, se considera que el comportamiento de los campos eléctricos y magnéticos clásicos no complejos E y B a lo largo del tiempo está regido por las ecuaciones de Maxwell estándar de la Figura 5a. Estas ecuaciones presentan una asimetría notable y reconocida desde hace tiempo en la forma en que describen E y B , lo que las hace parecer incompletas. Mientras que la densidad de carga eléctrica ρ aparece al describir E (arriba a la izquierda de la Figura 5a), no...

La densidad de carga magnética correspondiente ρm aparece en la ecuación correspondiente para B (abajo a la izquierda), y mientras que la densidad de corriente eléctrica J aparece al describir B (abajo a la derecha), no aparece ninguna densidad de corriente magnética correspondiente Jm al describir E (arriba a la derecha). Muchos libros de texto modernos de electrodinámica, por ejemplo, Griffiths (2017) y Zangwill (2013), ilustran cómo esta asimetría/incompletitud podría repararse añadiendo términos para la carga magnética hipotética (monopolos magnéticos), como se ilustra en la Figura 5b (fuente roja; contrastar con la Figura 5a), pero las búsquedas experimentales exhaustivas no han logrado encontrar monopolos magnéticos, lo que hace que las ecuaciones extendidas en la Figura 5b sean inconsistentes con la evidencia experimental existente hasta la fecha.

(a) Standard Maxwell's Equations

$$\nabla \cdot \boldsymbol{E} = \frac{1}{\epsilon_0}\rho \qquad \nabla \times \boldsymbol{E} = \quad - \frac{\partial \boldsymbol{B}}{\partial t}$$

$$\nabla \cdot \boldsymbol{B} = 0 \qquad \nabla \times \boldsymbol{B} = \mu_0 \boldsymbol{J} + \frac{1}{c^2}\frac{\partial \boldsymbol{E}}{\partial t}$$

(b) Extensions (red font) adding magnetic charge and current

$$\nabla \cdot \boldsymbol{E} = \frac{1}{\epsilon_0}\rho \qquad \nabla \times \boldsymbol{E} = -\mu_0 \boldsymbol{J}_m - \frac{\partial \boldsymbol{B}}{\partial t}$$

$$\nabla \cdot \boldsymbol{B} = \mu_0 \rho_m \qquad \nabla \times \boldsymbol{B} = \mu_0 \boldsymbol{J} + \frac{1}{c^2}\frac{\partial \boldsymbol{E}}{\partial t}$$

(c) Extension (red font) to complex-valued fields

$$\nabla \cdot \boldsymbol{E} = \frac{1}{\epsilon_0}\rho \qquad \nabla \times \boldsymbol{E} = -i\, c\mu_0 \boldsymbol{J} - \frac{\partial \boldsymbol{B}}{\partial t}$$

$$\nabla \cdot \boldsymbol{B} = i\, c\mu_0 \rho \qquad \nabla \times \boldsymbol{B} = \mu_0 \boldsymbol{J} + \frac{1}{c^2}\frac{\partial \boldsymbol{E}}{\partial t}$$

Figura 5. Ecuaciones de Maxwell. (a) Forma estándar para campos no complejos utilizando unidades del SI. Aquí, ρ y J son la carga eléctrica y la densidad de corriente eléctrica volumétrica, y la permitividad , la permeabilidad μ y la velocidad de la luz c son constantes. Las líneas discontinuas indican asimetrías (o asimetrías aparentes) en ecuaciones pareadas verticalmente. (b) Forma extendida utilizando campos estándar de valor real para ilustrar la mayor simetría de las ecuaciones que resultaría si se añadiera una carga magnética hipotética (fuente roja). (c)
Forma extendida, pero ahora con campos de valores complejos e incluyendo carga y corriente de valores imaginarios (fuente roja), donde i indica cantidades imaginarias. La variable escalar t en el lado derecho de estas ecuaciones es la hora del reloj.

En cambio, si se extienden las ecuaciones de Maxwell para abarcar los campos complejos E y B, se obtienen las ecuaciones de la Figura 5c (Reggia, 2024b). Estas ecuaciones son muy similares a las de la Figura 5b, excepto que ahora los campos E y B son complejos, las adiciones (fuente roja) incorporan valores imaginarios y no se observa ningún nuevo tipo de

Es necesario introducir la carga magnética ρ_m o la corriente J_m . Estas ecuaciones de valor complejo son consistentes con las ecuaciones estándar de Maxwell. Predicen la existencia de monopolos magnéticos (Reggia, 2024a,b), pero que estos monopolos solo tienen campos magnéticos de valor imaginario no observables y, por lo tanto (a diferencia de la Figura 5b), son consistentes con estudios experimentales previos que no han logrado detectar monopolos magnéticos. Además, si bien las partes de valor imaginario de los campos son, por supuesto, no observables directamente, predicen efectos indirectos detectables experimentalmente (Reggia, 2024b).

Específicamente, en el espacio temporal, los roles de E y B se invierten, y al aplicar una transformación de dualidad, se puede generalizar la ley clásica de fuerza de Lorentz para incluir las fuerzas que afectan los movimientos de partículas cargadas tanto en el tiempo como en el espacio. Esta ley implica que no existe una influencia directa en el movimiento de una partícula en el espacio vacío debid y campos E_t , y que solo B_t y E_t actúan directamente sobre el movimiento de una partícula en el espacio t. Esto también permite realizar predicciones comprobables sobre cómo podría detectarse la presencia de dichos campos mediante los métodos experimentales actuales, lo que hace que la teoría sea falsable (ibid.).